

**Remigiusz MYDLIKOWSKI<sup>1</sup>, Adam SZYNKIEWICZ<sup>2</sup>**

**WYKORZYSTANIE RADARU DO PENETRACJI GRUNTU (GPR) DO MONITORINGU  
WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH**

**USING GROUND PENETRATING RADAR (GPR) TO MONITORING OF FLOODBANKS**

**Abstract**

Floodbanks are to protect nearest region of those rivers from high water level. Spring - sloppy roads or torrential rains cause very often that a level of water in those rivers increase and lead to flood. The flood most often is a result of bad technical conditions of floodbanks. It means that proper conditions of floodbanks have strategic meaning for protection of people lives and their properties.

Last year some researches of structure of floodbanks with ground penetrating radar RAMAC GPR were done. The measurements were run in town Wrocław on floodbanks among bridges Swojszycki and Jagellonski on the left side of bank. This article presents results of measurements of structure of banks with radar.

**Key words:** ground penetrating radar, floodbank

**Wstęp**

Pod względem budowy wały przeciwpowodziowe w Polsce są bardzo zróżnicowane. Zróżnicowanie to wynika z dostępnych materiałów w danym rejonie oraz technologii użytych do ich budowy. Często w wałach przeciwpowodziowych znajdują się elementy infrastruktury technicznej (rurociągi, kable, elementy betonowe, itp.). Zbudowano je często na gruntach przepuszczalnych np. na starorzeczach itp. Badania stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych reguluje polska norma (Prawo wodne 2001). Według normy, sprawdzenia takiego dokonuje się poprzez odwierty geologiczne i analizę uzyskanych próbek. Wybór umiejscowienia odwiertów dokonywany jest na podstawie oględzin zewnętrznego stanu technicznego wału. Wykonuje się 3 odwierty na 1 km długości wału i po analizie próbek interpoluje się całą strukturę wału pomiędzy danymi pochodzącymi z odwiertów.

Prowadzenie badań technicznych metodą opisaną w normie jest niejednokrotnie zawodne. Interpolacja wyników na tak znacznym odcinku wału może wprowadzać pewne błędy w faktycznej ocenie stanu wału. Dla pełnej analizy stanu technicznego wału prowadzone odwierty wspomagane powinny być badaniami elektromagnetycznymi dzięki którym z łatwością można wskazać miejsca w których struktura geologiczna wału jest zmieniona. Bardzo przydatnym urządzeniem do wspomagania klasycznych metod pomiarowych może okazać się radar do penetracji gruntu (Forest et al., 2004).

W ubiegłym roku przeprowadzono badania struktury wału przeciwpowodziowego radarem do penetracji gruntu RAMAC GPR. Pomiarów dokonano w mieście Wrocław na wałe przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Swojszyckimi i Jagiellońskimi na lewym brzegu kanału powodziowego. Do wstępnych badań wybrano 50 metrowy odcinek wału w okolicach 100 metru wału licząc od osi jezdni przechodzącej przez most Jagielloński. 100 metr wału stanowił połowę badanego odcinka. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów struktury wału metodą georadarową.

---

<sup>1</sup> Dr, Institute of Telecommunications, Teleinformatics and Acoustic, Wrocław University of Technology, Wyspiańskiego 27, Wrocław, Poland, remigiusz.mydlikowski@pwr.wroc.pl

<sup>2</sup> Dr, Institute of Geological Sciences, Wrocław University, pl. M.Borna 9, Wrocław, Poland, aszyn@ing.uni.wroc.pl

### Pomiary struktury wału przeciwpowodziowego metodą georadarową

Badania struktury wału przeciwpowodziowego przeprowadzono radarem do penetracji gruntu RAMAC GPR szwedzkiej firmy Mała Geoscience, z anteną osłonowa o częstotliwości roboczej 250 MHz (Szynekiewicz 2000). Pomiary przeprowadzono na odcinku wału przeciwpowodziowego we Wrocławiu.

Przed przystąpieniem do pomiarów radarem do penetracji gruntu należy ustalić parametry pomiarowe radaru. W przypadku radaru RAMAC GPR parametry te to:

F	–	sampling frequency,
Ns	–	numbers of samples
S	–	numbers of stacks,
Nt	–	numbers of traces
Tw	–	time window,
Ti	–	trace interval,
A	–	antenna separation.

Najważniejsze parametry radaru na które operator ma wpływ to Ti oraz F. W przeprowadzonych badaniach określono wpływ obu tych parametrów na otrzymywane wyniki pomiarów.

Wszystkie przedstawione falogramy z radaru są podstawowymi falogramami bez nałożonych filtrów obrazu. Nakładanie odpowiednich filtrów umożliwia wyostrenie obrazu i dokładniejsze ukazanie struktury wału. W pracy dla przejrzystości i możliwości bezpośredniego porównania otrzymanych wyników nie stosowano żadnych filtrów obrazu.

### Wpływ Ti na wyniki pomiarów radarem RAMAC GPR

Trace interval Ti jest to długość odcinka z jakim wysyłany jest sygnał przenikający badany grunt. W badaniach określono wpływ tego odcinka na otrzymane wyniki. W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań zaś otrzymane falogramy dla tych ustawień pokazano na rysunkach 1, 2. Oznaczenia w tabeli:

h – głębokość penetracji fali,

d – długość otrzymanego falogramu odpowiadająca 50 m badanego wału.

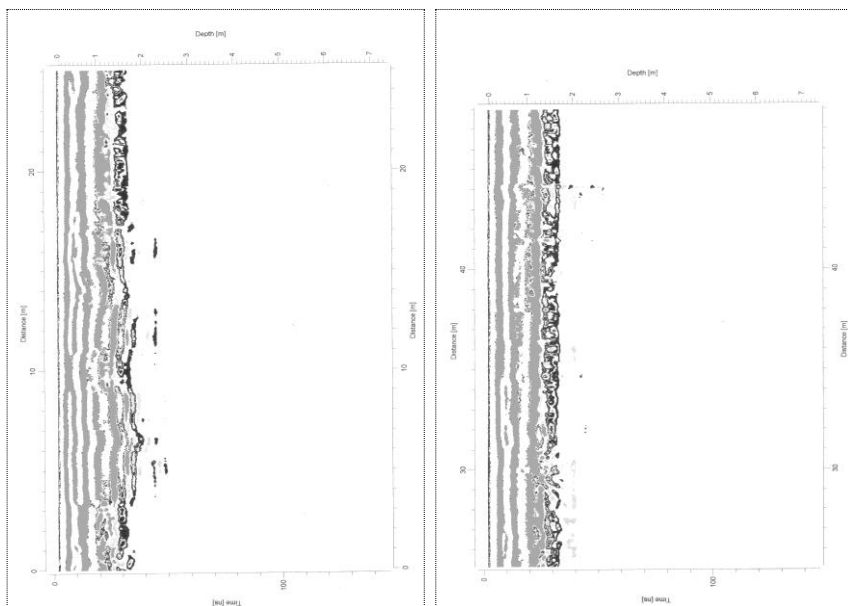
**Tabela 1** Wpływ Ti na wyniki pomiarów.

Lp.	F	Ns	S	Nt	Tw	Ti	h	d	Nr
	[MHz]	[–]	[–]	[–]	[ns]	[m]	[m]	[cm]	rys.
1	5361	800	8	2337	149	0,02	7,5	44,0	1
2	5361	800	8	949	149	0,05	7,5	18,0	2a
3	5361	800	8	486	149	0,10	7,5	9,5	2b
4	5361	800	8	97	149	0,50	7,5	2,0	2c
5	5361	800	8	49	149	1,00	7,5	1,0	2d

Jak widać z przedstawionych wyników badań, Ti ma zasadniczy wpływ na dokładność otrzymanych wyników. Długość odcinka z jakim badany jest grunt bezpośrednio wpływa na długość otrzymywanego falogramu. Krótszy odcinek Ti powoduje, że grunt jest badany z większą dokładnością. Fala elektromagnetyczna przenika badany grunt stosunkowo często dając dokładniejszy przebieg zmienności gruntu. Dłuższy odcinek Ti powoduje, że uzyskiwane falogramy,

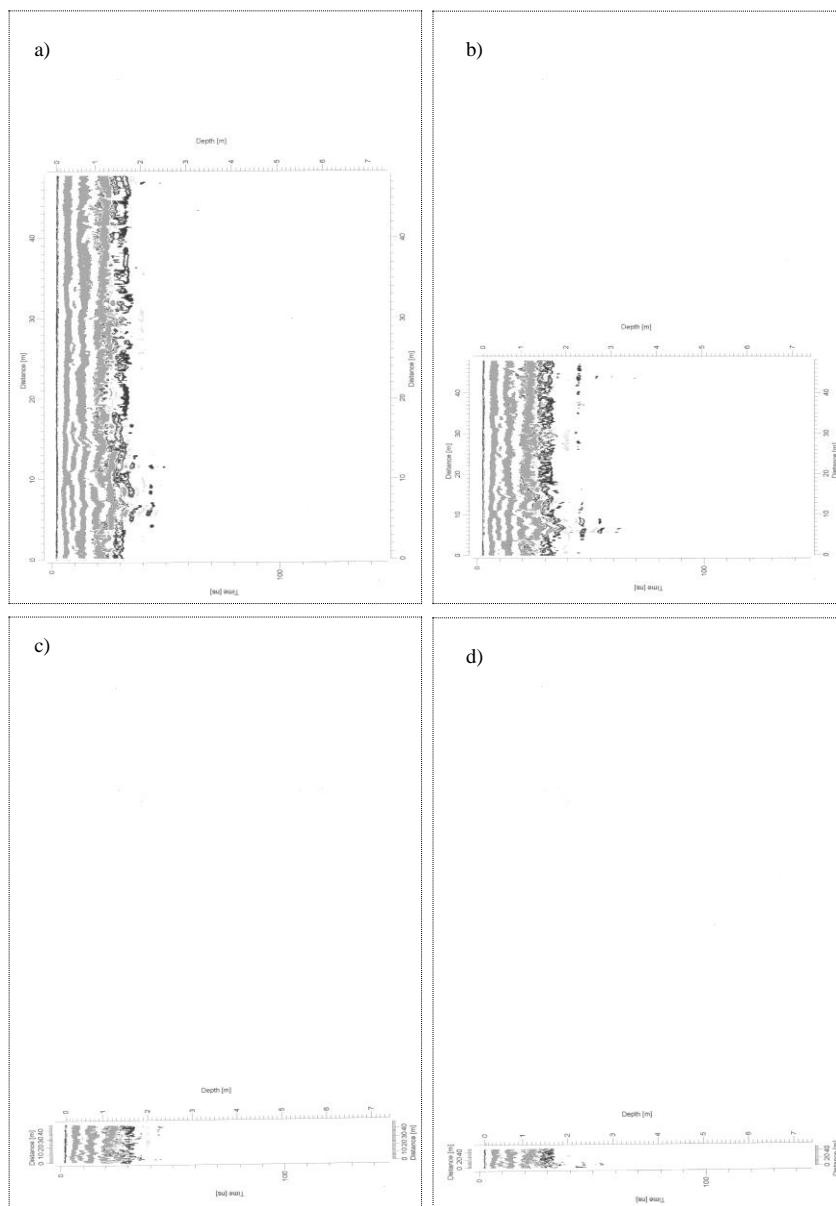
które odwzorowują badany odcinek gruntu, są znacznie krótsze i zawierają dużo mniej informacji o strukturze gruntu.

Stosowanie krótkich  $T_i$  pozwala na dokładniejsze śledzenie struktury badanego gruntu ale pociąga za sobą dłuższy czas potrzebny na wykonanie pomiarów (wolniejsze przesuwanie radaru wzdłuż badanego odcinka). Krótkie  $T_i$  jest uzasadnione przy badaniu krótkich odcinków gruntu, gdy operatorowi zależy na bardzo dokładnym poznaniu struktury badanego gruntu. Gdy badaniom poddawany jest znacznie większy obszar gruntu i nie jest istotna duża dokładność pomiarów zdecydowanie bardziej wskazany jest dłuższy odcinek  $T_i$ . Przystępując zatem do badań, operator radaru musi wiedzieć czego poszukuje w gruncie, z jaką dokładnością oczekuje wyników i dla dobrze sprecyzowanych celów określać z jaką dokładnością należy wykonywać pomiary badanego ośrodka.



**Rys.1** Falogram czasowy badanego 50 metrowego odcinka wału przeciwpowodziowego przy  $T_i = 0,02$  m,  $F = 5361$  MHz.

Wybierając długość  $T_i$  do badania struktury wałów przeciwpowodziowych wydaje się uzasadnione dobór  $T_i$  z przedziału 0,1 do 0,5 m. W przypadku badań wałów przeciwpowodziowych nie jest istotna zbyt dokładna struktura całego wału lecz raczej wskazanie niejednorodności w jego budowie. Dlatego też  $T_i = 0,1 \div 0,5$  m wydaje się optymalne by zbadać wał z wystarczającą dokładnością. Jeśli istniałaby potrzeba odnalezienia w wale zakopanych kabli energetycznych lub cienkich rurek czy też drobnych elementów ta długość  $T_i$  mogłaby okazać się niewystarczająca. W takim przypadku optymalna długość  $T_i$  nie powinna przekraczać kilku cm. Wówczas otrzymywany obraz będzie na tyle dokładny by odnaleźć na nim drobne elementy.



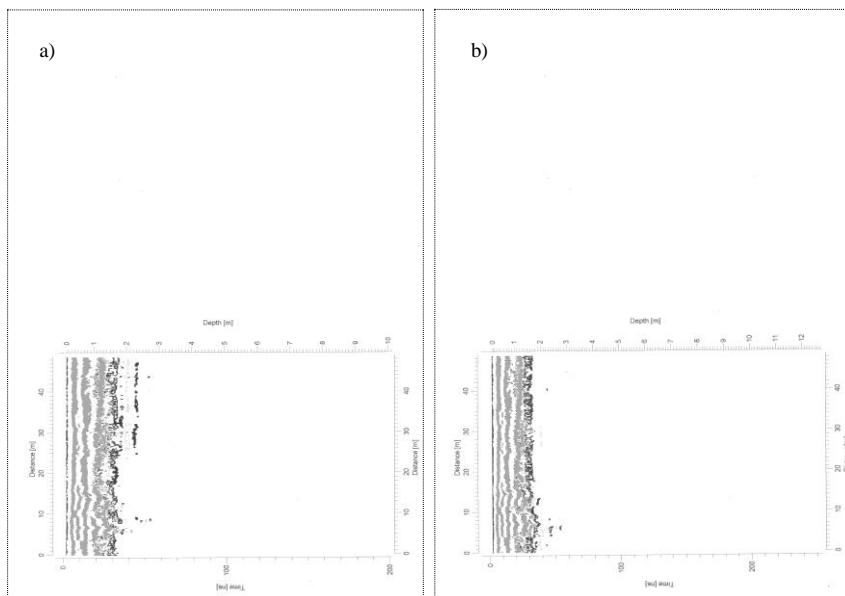
**Rys.2** Falogram czasowy badanego 50 metrowego odcinka wału przeciwpowodziowego przy  $F = 5361$  MHz oraz  $T_i$ : a) 0,05 m, b) 0,10 m, c) 0,50 m, d) 1,00 m.

## Wpływ F na wyniki pomiarów radarem RAMAC GPR

Sampling frequency  $F$  jest to częstotliwość fali wnikażącej w badany ośrodek. W badaniach określono wpływ tej częstotliwości na uzyskiwane wyniki. Pomiary przeprowadzono przy  $T_i$  równym 0,1 m. Taka długość  $T_i$  wydaje się optymalna do przeprowadzenia badań wału przeciwpowodziowego na niezbyt długim odcinku 50 m. W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań zaś otrzymane falogramy dla tych wyników pokazano na rysunkach 2a i 3.4.

**Tabela 2** Wpływ F na wyniki pomiarów.

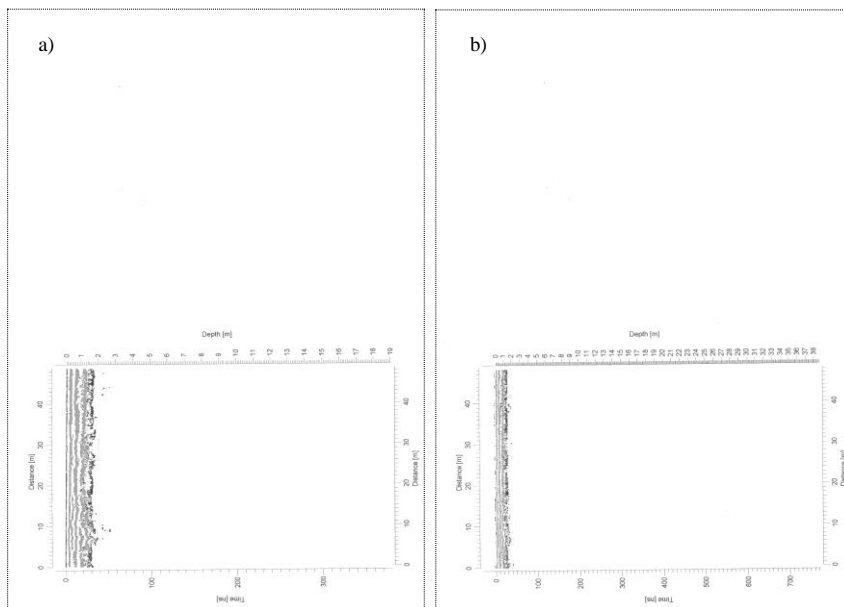
Lp.	F	Ns	S	Nt	Tw	Ti	h	d	Nr rys.
	[MHz]	[-]	[-]	[-]	[ns]	[m]	[m]	[cm]	
1	5361	800	8	486	149	0,10	7,5	9,5	2b
2	3899	800	8	492	205	0,10	10,0	9,5	3a
3	3064	800	8	493	261	0,10	13,0	9,5	3b
4	2042	800	8	492	391	0,10	19,0	9,5	4a
5	997	800	8	488	802	0,10	37,0	9,5	4b



**Rys.3** Falogram czasowy badanego 50 metrowego odcinka wału przeciwpowodziowego przy  $T_i = 0.10$  m oraz F: a) 3899 MHz, b) 3064 MHz.

Z przeprowadzonych badań wynika, że częstotliwość wnikającej fali w grunt zasadniczo wpływa na głębokość badanego gruntu. Im mniejsza częstotliwość fali wnikającej, penetracja gruntu możliwa jest na większych głębokościach. Dzieje się tak ze względu na fakt, że fala elektromagnetyczna w ośrodku półprzewodzącym jest silnie tłumiona zwłaszcza w ilach i glinie. Najmocniej tłumione są fale o najwyższych częstotliwościach zatem ich zasięg jest znacznie płytszy. Im głębiej ma być zbadany grunt należy liczyć się z tym, że pomiar będzie mniej dokładny. Wraz ze zwiększaniem się głębokości badań maleje rozdzielczość uzyskiwanych wyników. Oznacza to, że na

większych głębokościach dostrzegane będą jedynie największe obiekty takie jak jaskinie, tunele, uskoki oraz struktura warstw litologicznych. Nie stanowi to wady tych pomiarów, lecz ich zaletę, gdyż na dużych głębokościach nie są poszukiwane kable, rury czy okruchy skalne, których obecność w falogramie jedynie zaciemniałaby obraz.



**Rys.4** Falogram czasowy badanego 50 metrowego odcinka wału przeciwpowodziowego przy  $T_i = 0,10$  m oraz F: a) 2042 MHz, b) 997 MHz.

W przypadku badań wałów przeciwpowodziowych istotne jest sprawdzenie struktury wałów oraz ich podstaw. Głębokość wnikania fali powinna zatem zapewnić taką widoczność by móc przeświecić wały łącznie z ich podstawą. W przypadku badanego wału jego wysokość sięgała około 2 m, natomiast podstawa wału miała około 3 m. W badanym odcinku wału optymalną częstotliwością wydaje się częstotliwość większa od 5361 MHz, jednak przy stosowanej antenie większa częstotliwość nie była możliwa do uzyskania.

### Wnioski

- 1) Wprowadzenie radaru do penetracji gruntu jako metody uzupełniającej badania stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych znacznie może poprawić skuteczność tych badań. Prowadzenie badań radarem pozwala na bezinwazyjne i ciągłe śledzenie struktury wału na całej jego długości. Wykrycie niejednorodności w strukturze wału może być pomocne przy wyborze miejsc odwiertów geologicznych prowadzonych klasyczną metodą pomiarową oceny stanu wałów.
- 2) Przy stosowaniu radaru GPR do śledzenia struktury wałów przed dokonaniem pomiarów należy wybrać na odpowiednim poziomie jego parametry. Odpowiedni dobór tych parametrów powinien zapewnić możliwie najlepszą widoczność struktury wału oraz jego podstawy.

- 3) Wybierając  $T_i$  należy określić wstępnie czy badaniu należy poddać strukturę wału czy poszukiwania w wale pewnych elementów infrastruktury technicznej. W przypadku poszukiwania niewielkich elementów (kable, rurek, nor ssących na małych odcinkach wału) dobór  $T_i$  powinien być na poziomie kilku cm, by zapewnić w miarę dokładne przeszukiwanie gruntu. W przypadku sprawdzania jedynie struktury wału, wystarczający poziom  $T_i$  to 10 do 50 cm.
- 4) Chcąc dokładnie zbadać strukturę wału oraz podstawy wału należy określić ich wspólną wysokość. Dla tej wysokości należy dobierać częstotliwość fali wnikaącej  $F$ . Przy doborze wartości tej częstotliwości należy mieć na uwadze, że im większa częstotliwość fali tym jej wnikanie płytsze.
- 5) Możliwe jest stosowanie radaru do penetracji gruntu RAMAC GPR jako urządzenia pomocnego przy ocenie stanu technicznego wału. Zalecane ustawienia parametrów radaru do prowadzenia takich badań to  $T_i = 0,1 \div 0,5$  m, natomiast  $F$  w zależności od wysokości wału od 6000 do 4500 MHz.

### **Literatura**

- [1] Szynkiewicz, A. (2000): GPR monitoring of earthen flood banks/levees. 8 Int. Conference on Ground Penetrating Radar, Vol. 4084, pp.85-90.
- [2] Forest, R. & Utsi, V. (2004): Non-destructive crack depth measurements with ground penetrating radar. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, Vol. II, pp.799-802.
- [3] Watters, M.S. (2004): GPR: A tool for archaeological management. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, Vol. II, pp.811-816.
- [4] Chen, B., Hu, Z. & Li, W. (2004): Using ground penetrating radar to determine water of rehabilitated coalmine soils treated by different methods. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, Vol. II, pp.513-516.
- [5] Ustawa o prawie wodnym z dnia 18 lipca 2001r. (Dz.U.2001.115.1229)